

**Identificación de un Coagulante Orgánico para el Tratamiento del Agua en el
Acueducto veredal Rancho Largo del Municipio de Samaná**

Gustavo Adolfo Calle Clavijo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Programa Ingeniería Ambiental

Sede La Dorada

2021

**Identificación de un Coagulante Orgánico para el Tratamiento del Agua en el
Acueducto veredal Rancho Largo del Municipio de Samaná**

Gustavo Adolfo Calle Clavijo

Proyecto de Investigación para optar al título de: Ingeniero Ambiental

Línea de Investigación: Proyecto de investigación

Asesor: Claudia Lorena Betancur

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Programa Ingeniería Ambiental

Sede La Dorada

2021

Agradecimientos

En estos renglones quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme realizar este proyecto y llevarlo a feliz término, de igual manera quiero exaltar el apoyo de mis padres Miriam y Alberto, los cuales siempre fueron incondicionales en los momentos más difíciles, a mis hijas Mariana y Sara los motores que siempre me inyectaron las fuerzas adicionales para cada día querer surgir y triunfar.

También quiero agradecer a todos los profesores que me acompañaron en este proceso, en especial a mi tutora Dra. Claudia Lorena Betancourt quien fue de gran apoyo para la realización de este trabajo.

Así mismo, quiero expresar mi reconocimiento a la Universidad Nacional Abierta a Distancia UNAD, por brindarme una educación de calidad con excelentes profesores formadores de alumnos profesionales y humanos.

Resumen

El presente trabajo es una investigación basada en la identificación de un coagulante orgánico que pueda reemplazar el sulfato de aluminio granulado actualmente utilizado en el tratamiento del agua en el acueducto rancho largo ubicado en el municipio de Samaná, ya que debido a este se encontraron trazas de aluminio superiores a 0,2 mg Al^{+3}/L valor máximo permisible según la resolución 2115 de 2007, para realizar este proceso se eligieron tres productos orgánicos la moringa, el plátano hartón y la yuca ya que estos contienen propiedades que los hacen efectivos para el proceso de la coagulación eliminando la turbidez y el color en el agua, fue necesario realizar una caracterización del agua de la fuente captada para este uso, en donde se tomaron 300 ml de muestra para análisis microbiológico en la cual se tuvieron en cuenta variables como *Escherichia coli* y coliformes, 1000 ml de muestra para análisis fisicoquímicos en donde se analizaron variables como Ph, conductividad, color, turbiedad, alcalinidad, dureza, aluminio residual, nitritos y 108000 ml de muestra para ensayos de jarras. Teniendo en cuenta cada uno de los coagulantes orgánicos se le extrajo a la moringa su semilla pulverizada y a la yuca y el plátano su almidón, previo a empezar las pruebas de jarras se prepararon las soluciones al 1% con cada uno de estos productos, las dosis aplicadas a cada una de las seis jarra fueron 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, 70 ppm y 75 ppm respectivamente, por cada coagulante se realizaron tres replicas para un total de 9 ensayos de jarras. Con los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos se calculó un promedio de remoción de turbiedad y color final respecto a los datos iniciales tomados a las muestras, en el análisis de estos resultados se encontró que la semilla de la moringa obtuvo la mayor efectividad de remoción de turbiedad con un 78.8% y de color con un 61% siendo este el coagulante orgánico más representativo. De la investigación realizada puede concluirse que la semilla de la moringa no cumple con los

requisitos de remoción de turbiedad y color para reemplazar el sulfato de aluminio; sin embargo, puede utilizarse como coadyuvante en el proceso de la coagulación siendo mezclado con el polímero químico disminuyendo la dosificación de aluminio rebajando el riesgo de afectación a la salud de los consumidores y del medio ambiente.

Palabras claves: Moringa, yuca, plátano, coagulante, agua, aluminio, potabilización

Abstract

The present work is an investigation based on the identification of an organic coagulant that can replace the granulated aluminum sulfate currently used in the treatment of water in the rancho largo aqueduct located in the municipality of Samaná, since traces of aluminum higher than 0.2 mg Al + 3 / L maximum permissible value according to resolution 2115 of 2007, to carry out this process, three organic products were chosen: moringa, hartón plantain and yucca since they contain properties that make them effective for the coagulation process eliminating turbidity and color in the water, it was necessary to characterize the water from the source captured for this use, where 300 ml of sample were taken for microbiological analysis in which variables such as *Escherichia coli* and coliforms, 1000 ml of sample for physicochemical analysis where variables such as Ph, conductivity, color, turbidity were analyzed age, alkalinity, hardness, residual aluminum, nitrites and 108000 ml of sample for jar tests. Taking into account each one of the organic coagulants, its powdered seed was extracted from the moringa and its starch from the yucca and banana, before starting the jar tests, the 1% solutions were prepared with each of these products, the doses applied to each of the six jugs were 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, 70 ppm and 75 ppm respectively, for each coagulant three replicates were made for a total of 9 jug tests. With the results obtained in each of the tests, an average removal of turbidity and final color was calculated with respect to the initial data taken from the samples, in the analysis of these results it was found that the moringa seed obtained the highest effectiveness of turbidity removal with 78.8% and color with 61%, this being the most representative organic coagulant. From the research carried out, it can be concluded that the moringa seed does not meet the turbidity and color removal requirements to replace aluminum sulfate; However, it can

be used as an adjuvant in the coagulation process, being mixed with the chemical polymer, reducing the dosage of aluminum, reducing the risk of affecting the health of consumers and the environment.

Keywords: Moringa, cassava, banana, coagulant, water, aluminum, purification.

Tabla de contenido

Agradecimientos	3
Resumen.....	4
Introducción	16
Planteamiento del problema.....	18
Justificación	21
Objetivos	23
Objetivo general:	23
Objetivos específicos:	23
Marco conceptual y teórico.....	24
Agua potable	24
Planta de tratamiento de agua potable (PTAP).....	24
Aguas residuales domésticas	25
Turbidez.....	26
Color	26
Alcalinidad	26
Dureza	27
Cloruros	27
PH.....	27
Conductividad	28
Nitritos.....	28
Aluminio residual	29

Coagulación y floculación.....	29
Coagulantes inorgánicos.....	31
Coagulantes orgánicos sintético	31
Coagulantes orgánicos.....	32
Metodología	35
Muestreo.....	37
<i>Toma de muestra para análisis físico químico</i>	<i>37</i>
<i>Toma de muestra para análisis microbiológico</i>	<i>37</i>
Análisis físico químico.....	37
<i>Potencial de hidrogeno Ph</i>	<i>38</i>
<i>Alcalinidad</i>	<i>38</i>
<i>Aluminio residual</i>	<i>39</i>
<i>Conductividad</i>	<i>40</i>
<i>Cloruros.....</i>	<i>40</i>
<i>Dureza</i>	<i>41</i>
<i>Nitritos.....</i>	<i>42</i>
<i>Sulfatos</i>	<i>43</i>
<i>Turbidez.....</i>	<i>43</i>
<i>Color.....</i>	<i>44</i>
<i>Temperatura</i>	<i>45</i>
Análisis microbiológico	45
Prueba de jarras	46

<i>Preparación de soluciones al 1%.....</i>	47
<i>Determinación de dosis óptima</i>	47
<i>Descarga del dosificador</i>	48
Extracción del almidón de la yuca, el plátano y la semilla de la moringa	48
<i>Extracción de la semilla de la moringa.....</i>	49
<i>Extracción del almidón de la yuca</i>	49
<i>Extracción del almidón del plátano</i>	49
Resultados	51
Toma de muestras para análisis fisicoquímicos	51
Caracterización fisicoquímica del agua.....	51
Análisis microbiológico	52
Extracción de coagulantes orgánicos	53
<i>Extracción del almidón del plátano</i>	53
<i>Extracción del almidón de la yuca</i>	57
<i>Extracción de la semilla triturada de la moringa</i>	59
Pruebas de jarras.....	61
<i>Prueba de jarras con el almidón del plátano</i>	61
<i>Prueba de jarras con el almidón de yuca.....</i>	64
<i>Prueba de jarras con semilla de moringa</i>	67
Análisis de resultados	71
Turbiedad	73

Color.....	73
Conclusiones	76
Recomendaciones	77
Bibliografías.....	78

Lista de imágenes

Imagen 1. Diagrama de flujo proceso de coagulación y floculación	30
Imagen 2. Bocatoma acueducto Rancho largo.....	35
Imagen 3. Microcuenca de la quebrada oscura.....	36
Imagen 4. Desarenador en la bocatoma de la quebrada oscura	36
Imagen 5. Diagrama de flujo determinación de alcalinidad	39
Imagen 6. Diagramas de flujo determinación de aluminio residual	39
Imagen 7. Diagrama de flujo determinación de conductividad	40
Imagen 8. Diagrama determinación de cloruros	41
Imagen 9. Diagrama de flujo determinación de dureza	42
Imagen 10. Diagrama de flujo determinación de Nitritos.....	42
Imagen 11. Diagrama de flujo determinación de sulfatos	43
Imagen 12. Diagrama de flujo determinación de turbidez.....	44
Imagen 13. Diagrama de flujo determinación de color.....	44
Imagen 14. Diagrama de flujo determinación de temperatura.....	45
Imagen 15. Diagrama de flujo análisis microbiológico	46
Imagen 16. Diagrama de flujo prueba de jarras.....	47
Imagen 17. Resultado microbiológico	52
Imagen 18. Resultado microbiológico	53

Imagen 19. Desinfección del plátano	54
Imagen 20. Acidificación y pelado del plátano	55
Imagen 21. Rebanado del plátano	55
Imagen 22. Secado del plátano rebanado.....	56
Imagen 23. Triturado del plátano.....	56
Imagen 24. Lavado y pelado de la yuca.....	57
Imagen 25. Molido de la yuca.....	57
Imagen 26. Filtración pulpa de la yuca.....	58
Imagen 27. Deshidratación almidón	58
Imagen 28. Semilla moringa	59
Imagen 29. Prensado de la semilla de moringa.....	60
Imagen 30. Secado de la semilla de la moringa.....	60
Imagen 31. Semilla de moringa triturada.....	61

Lista de fórmulas

Formula 1. Determinación de alcalinidad	38
Formula 2. Determinación de dureza.....	41
Formula 3. Determinación descarga del dosificador	48
Formula 4. Solución hipoclorito al 1%.....	53
Formula 5. Ácido cítrico al 3%	54

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados caracterización fisicoquímica	51
Tabla 2. Resultados análisis microbiológicos	52
Tabla 3. Resultados prueba de jarras 1 almidón de plátano.....	62
Tabla 4. Resultados prueba de jarras 2, almidón de plátano.....	63
Tabla 5. Resultados prueba de jarras 3, almidón de plátano.....	64
Tabla 6. Resultados prueba de jarras 1, almidón de yuca	65
Tabla 7. Resultados prueba de jarras 2, almidón de yuca	66
Tabla 8. Resultados prueba de jarras 3, almidón de yuca	67
Tabla 9. Resultados prueba de jarras 1, semilla de moringa.....	68
Tabla 10. Resultados prueba de jarras 2, semilla de moringa.....	69
Tabla 11. Resultados prueba de jarras 3, semilla de moringa.....	70
Tabla 12. Resultados ensayos de jarras.....	71

Introducción

El agua potable de una población es una de las características relevantes que sirve como indicador en cuanto a la calidad de vida de las personas se refiere, el tratamiento realizado al agua cruda consiste en un proceso fisicoquímico en el cual se eliminan impurezas y microorganismos que puedan causar daño a la salud de las personas que la consumen, este incluye diferentes etapas entre las cuales se encuentran la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y por último la desinfección. Es en la coagulación en donde es necesario aplicar un polímero el cual al hacer contacto con el agua realiza un cambio iónico y entra a desestabilizar las partículas suspendidas lo que permite su atracción y aglomeración formando el floc gracias a la etapa siguiente que es la de la floculación en donde se produce el movimiento y la velocidad apropiada y posteriormente se precipitan en la etapa de la sedimentación al obtener un peso mayor al del agua. El coagulante más común y el cual es utilizado para el tratamiento del agua en el acueducto veredal rancho largo es el sulfato de aluminio granulado, este obtiene resultados muy eficaces a la hora de remover turbiedad y color en el agua, su importancia radica en una dosificación optima ya que si es sobre dosificada puede causar afectaciones a la salud de las personas y el medio ambiente.

Con este proyecto de investigación se busca beneficiar a una comunidad ubicada en la vereda rancho largo del municipio de Samaná departamento de caldas la cual se abastece de agua potable por el acueducto veredal, a través de la identificación de un coagulante orgánico entre tres opcionales la semilla de la moringa, el almidón del plátano y el almidón de la yuca realizando ensayos de jarras con cada uno de ellos para establecer cual tiene mejor trabajo de remoción de turbiedad y color y con esto llegue a reemplazar el sulfato de aluminio utilizado en la potabilización del agua de este acueducto, garantizando así un producto de calidad cumpliendo

con las normas establecidas y sin causar ningún tipo de efectos negativos a la salud de los consumidores ni al medio ambiente.

Planteamiento del problema

Los contaminantes generados por actividades antropogénicas, incrementan la contaminación de los cuerpos de agua, los cuales deben ser tratados para abastecer las poblaciones mediante un proceso de potabilización el cual incluye coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección Olivero (2013). En la etapa de coagulación la adición de sustancias químicas se realiza con el fin de lograr la agregación del material suspendido no sedimentable del agua como el caso de la arcilla, el limo, materia orgánica, inorgánica y microorganismos los cuales permiten formación de flóculos que sedimentan fácilmente Parra, Cedeño, García, Mendoza, González, y Fuentes (2011). cuyas partículas son causantes de la turbidez del agua el cual es uno de los indicadores para evaluar el uso de la misma para consumo humano Olivero (2013). De otra parte, las bacterias, virus y parásitos tienen la capacidad de adherirse a otro tipo de materia en suspensión, generando el aumento de la turbidez y el riesgo de enfermedades gastrointestinales, por lo que se hace necesario la remoción de la turbidez antes de la fase de desinfección y potabilización del agua.

El sulfato de aluminio es el coagulante químico más utilizado para la clarificación del agua debido a que en condiciones óptimas remueve hasta un 99% los microorganismos y partículas coloidales disueltas en el agua, sin embargo autores como (Suay, 2002; Dakanali, 2003; Yokel, 2001; Nagasawa, 2006; Guo, 2011) han reportado el efecto tóxico del aluminio en los seres vivos, Tomljenovic y Guo (2011). Hacen referencia a la posible injerencia del aluminio en el padecimiento de la enfermedad de Alzheimer, además ha sido relacionado con varias formas de cáncer y enfermedades óseas Gurdian y Coto (2011). Entre las fuentes de exposición principal se encuentran los alimentos, el agua, los aditivos, y en general los utensilios utilizados durante la preparación de los alimentos.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los valores máximos permitidos de concentración de aluminio en el agua para consumo humano no pueden exceder los 0,2 mg/l, sin embargo, según Tomljenovic (2011) cada vez son más los indicios de la relación existente entre el aluminio con la aparición temprana del Alzheimer.

En el municipio de Samaná - Caldas en la vereda rancho largo, se encuentra el acueducto que lleva el mismo nombre y del cual se benefician 420 usuarios aproximadamente gracias al suministro de agua, el agua tratada es obtenida de la quebrada oscura y tratada con sulfato de aluminio granulado como agente coagulante; sin embargo, existen trazas de aluminio en el agua potabilizada que supera los valores permitidos según el decreto 1575 de la resolución 2115/2007, que estipula como valor máximo permitido 0,2 mg Al+3/L, lo cual constituye un factor de riesgo importante frente a la aparición de enfermedades como Alzheimer y en general enfermedades de los sistemas nervioso y digestivo como producto del consumo del agua tratada en el acueducto rancho largo.

Teniendo en cuenta que el agente coagulante utilizado en este proceso es de procedencia química, el cual deja residuos que resultan ser perjudiciales para la población aledaña al municipio de Samaná y que según Rivera (2017) han reportado investigaciones como la *“determinar la eficiencia de dos coagulantes, almidón de yuca y el agua de plátano para remover la turbidez y Escherichia Coli como un pre tratamiento en muestras de las aguas provenientes del riachuelo santa del distrito de Perené”* y según Cabrera y Arintzy (2018) *“Aplicación de Semilla de Moringa Oleifera Lam Como Alternativa Coagulante de Agua Almacenada en el Municipio de Zirándaro, Gro”* los cuales se hace uso de residuos orgánicos como agentes coagulantes; se pretende identificar ¿Qué agente coagulante orgánico proveniente

de la moringa, del plátano o la yuca puede reemplazar el sulfato de aluminio en el tratamiento de agua en el acueducto rancho largo de Samaná Caldas?

Justificación

Los polímeros orgánicos de origen natural se han utilizado por más de 4000 años en India, en África y en China como ayudantes de coagulación de aguas con alta turbidez para uso doméstico y en áreas rurales (Asrafuzzaman, Fakhruddin y Alamgir Hossain (2011), en Arcila y Peralta (2016)). En Latinoamérica, los compuestos de aluminio han sido tradicionalmente utilizados en el tratamiento y análisis de aguas, específicamente como coagulantes, práctica desarrollada a partir de los años 1960's; en la actualidad, los países desarrollados hacen uso de coagulantes de segunda y tercera generación como el sulfato ferroso y policloruro de aluminio, los cuales por sus características químicas requieren menores concentraciones incrementando su efectividad.

En Colombia el uso de coagulantes de segunda y tercera generación está limitado a aquellas plantas de tratamiento con mayor capacidad de operación, por lo que las plantas convencionales en su mayoría emplean insumos como el sulfato de aluminio para la coagulación minimizando costos de operación; sin embargo, autores como Perl (1985); Martyn (1989); Forster (1995); Vásquez & Montoya (2004) e Hidalgo (2012) reportan la presencia de aluminio en el ambiente como un factor de riesgo relacionado con la enfermedad de Alzheimer, situación que ha llevado a la disminución del uso de este coagulante en el tratamiento de aguas. En la actualidad, en el acueducto del municipio de Samaná - Caldas vereda Rancho Largo se continúa empleando el sulfato de aluminio como coagulante dados los altos costos de aquellos de segunda y tercera generación, por lo que se hace necesario identificar un coagulante orgánico que cumpla con los porcentajes de remoción de turbiedad y color, a fin de ser implementado en el tratamiento de aguas del acueducto Rancho Largo, dando cumplimiento a lo establecido en la

resolución 2115 de 2007, la cual indica que no se puede exceder una concentración máxima de 0,2 mg Al^{+3}/L .

El llevar a cabo este proyecto contribuye en la mejora de la calidad de vida de los más de 400 usuarios que se abastecen de agua por parte del acueducto rancho largo en Samaná - Caldas, la pertinencia social radica en la contribución para mejorar la calidad del agua suministrada sin efectos secundarios derivados del consumo del líquido vital.

La pertinencia institucional de este proyecto va muy de la mano de los objetivos del semillero ASBI de la escuela de ciencias básicas, el cual apunta entre sus objetivos a resolver problemáticas ambientales haciendo uso de recursos biotecnológicos. En el proyecto actual se pretende hacer uso de los bioprocesos para mejorar la calidad del recurso hídrico dirigido al consumo humano en la vereda rancho largo en Samaná Caldas.

Objetivos

Objetivo general:

Identificar un agente coagulante orgánico a partir de la semilla de la moringa, el almidón del plátano o el almidón de la yuca para la remoción de turbiedad y color en las aguas que abastecen el acueducto de Rancho Largo en el municipio de Samaná - Caldas, reemplazando el Sulfato de Aluminio y evitando posibles daños a la salud humana y el medio ambiente.

Objetivos específicos:

Caracterizar la calidad de agua distribuida por el acueducto rancho largo en el municipio de Samaná a fin de cuantificar las concentraciones de sulfato de aluminio residual.

Determinar las condiciones de operación (dosis y velocidad de agitación) acertadas de acuerdo a las eficiencias máximas de remoción de turbidez para el tratamiento de aguas.

Analizar la capacidad de remoción de turbiedad y color de la semilla de la moringa, almidón del plátano y el almidón de la yuca.

Marco conceptual y teórico

La calidad de vida de una población se ve reflejada en el agua que consumen sus habitantes y la continuidad de la misma, es por eso que en la actualidad es un tema primordial a nivel mundial el cual está involucrado en los planes de ordenamiento territorial, el tratamiento de este líquido vital reúne varios procesos los cuales arrojan como resultado un agua de consumo humano que cumple con todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por los entes reguladores.

Agua potable

El agua potable es aquella agua natural o de tratamiento que cumpla con todas las normas de calidad establecidas para tal fin, basadas en estudios epidemiológicos, toxicológicos y consideraciones cualitativas, esta agua es producida a partir del tratamiento de aguas superficiales, subterráneas, atmosféricas, océanos, glaciares, lagunas entre otros Gray y López, (1996). Estas fuentes son consideradas potables de acuerdo a la características físicas, químicas y microbiológicas del agua, a fin de cuantificar el estado real de la fuente al ingreso a la planta potabilizadora, las cuales se rigen de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007.

Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

Una PTAP es un conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que quede apta para el consumo humano. Consta de una serie de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o características no deseables en aguas Chulluncuy y Camacho (2011). Existen diversas tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios higiénico, estético y económico.

Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas resultan principalmente de los residuos líquidos generados en las zonas residenciales, de estas hacen parte las aguas negras las cuales transportan heces y orina y las aguas grises las cuales transportan aguas jabonosas que también contienen grasas provenientes de los lavaplatos, aunque este tipo de residuos son evacuados generalmente por el alcantarillado, este sistema no cuenta con cobertura total en muchas zonas del país, especialmente las zonas rurales, por lo que terminan en cuerpos de agua que abastecen los acueductos (tesis).

Parámetros fisicoquímicos a evaluar

La composición química natural de las aguas puede verse alterada por actividades humanas: agrícolas, ganaderas e industriales, principalmente. La consecuencia es la incorporación de sustancias de diferente naturaleza a través de vertimientos de aguas residuales o debido al paso de las aguas por terrenos tratados con productos agroquímicos o contaminados. Estas incorporaciones ocasionan la degradación de la calidad del agua provocando diferentes efectos negativos como la modificación de los ecosistemas acuáticos la destrucción de los recursos hidráulicos riesgos para la salud incremento del coste del tratamiento del agua para su uso daño en instalaciones (incrustaciones, corrosiones, etc.) destrucción de zonas de recreo. Las aguas contaminadas presentan compuestos diversos en función de su procedencia: pesticidas, tenso activos, fenoles, aceites y grasas, metales pesados, etc. La composición específica de un agua determinada influye en propiedades físicas tales como densidad, tensión de vapor, viscosidad, conductividad.

Turbidez

Definida como la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales en suspensión y coloides, es un indicador del material suspendido que puede ser originado por los sedimentos provenientes de las cuencas hidrográficas o vertimientos domésticos y/o industriales. Ocasio (2008)

La turbidez es un indicador del material suspendido que puede ser originado por los sedimentos provenientes de las cuencas hidrográficas o vertimientos domésticos y/o industriales; se mide en Unidades Nefelométricas de Turbiedad, NTU. Ocasio (2008).

Los valores de turbiedad se establecen a fin de identificar la calidad de agua y los tratamientos adecuados para su remoción, como lo son la filtración, coagulación-floculación y sedimentos principalmente. Carpio (2007).

Color

Según la definición de Goyenola (2007).el color depende tanto de las sustancias que se encuentren disueltas como de las partículas que se encuentren en suspensión. Se clasifica como color verdadero al que depende solamente del agua y sustancias disueltas mientras el aparente es el que incluye las partículas en suspensión que a su vez generan turbidez. Son causantes de color en cuerpos de agua naturales el material vegetal en descomposición (ácido húmico y fúlvico) y algunos minerales disueltos de hierro y manganeso, variando de tonalidad amarilla hasta café. El valor admisible de color debe ser menor o igual a 15 Unidades de Platino Cobalto (UPC) para aguas potables, de acuerdo a lo establecido por la Resolución 2115 de 2007.

Alcalinidad

Es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el indicador usado para determinar el punto

final. La alcalinidad de muchas aguas de superficie depende principalmente de su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes. Las determinaciones de alcalinidad se utilizan en la interpretación y el control de los procesos de tratamiento de aguas limpias y residuales. El color de la muestra de acuerdo a los indicadores no puede ser estandarizado debido a que depende del pH de la muestra, del color aparente del agua y de la alcalinidad de la muestra.

Dureza

Es una característica química del agua determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 250 mg/l de dureza, niveles superiores a 500 mg/l son indeseables para uso doméstico. Existen dos tipos de dureza: dureza temporal, la cual puede ser eliminada por ebullición y filtrado y la dureza permanente la cual no puede ser eliminada por ebullición.

Cloruros

Son una de las sales presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje, la presencia de cloruros produce un sabor salado variable y que depende de la composición química del agua. La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm, concentraciones mayores pueden dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

PH

Es la medida de la concentración de iones de hidrógeno de una sustancia, la medición se establece en una escala de 0 a 14 donde el valor medio es 7 correspondiente a soluciones neutras, soluciones con valores inferiores a 7 son consideradas ácidas y aquellas con valores superiores a

7 básicas o alcalinas Pringles (2014). La medición de pH se realiza a fin de neutralizar y adecuar el agua para tratamientos posteriores.

Conductividad

Es la medida de la capacidad de las mismas para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja, el agua natural tiene iones en disolución, su conductividad es mayor y proporcional a las cantidades y características de los electrolitos, por ello se usan valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. La temperatura modifica la conductividad en el agua por lo que los análisis se llevan a cabo a temperatura de 20°C. Las aguas superficiales con fondos formados de granito presentan una conductividad más baja, mientras que las aguas superficiales con fondos arcillosos presentan conductividad mayor debido a los compuestos ionizables. Ocasio (2008).

Nitritos

Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico, lo mismo que de nitrógeno gaseoso son inconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno.

El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno tanto en la oxidación del amoníaco a nitrato como en la reducción del nitrato; dicha oxidación y reducción puede ocurrir en las plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de distribución de agua y aguas naturales. El nitrito puede pasar al sistema de suministro de agua debido a su uso como inhibidor de la corrosión en el agua, es considerado como una etapa intermedia del ciclo del nitrógeno y puede estar presente en el agua como resultado de la descomposición biológica de materiales

proteicos. En aguas superficiales crudas, las huellas de nitritos, indican contaminación, pueden producirse en las plantas de tratamiento como resultado de la acción de bacterias sobre el nitrógeno amoniacal. El valor admisible de nitritos debe ser menor o igual a 0,1 mg/l NO_2 para aguas potables según la resolución 2115 de 2007.

Aluminio residual

El aluminio es un componente natural de las aguas residuales y subterráneas. La mayoría de los tratamientos de agua alrededor del mundo usan el sulfato de aluminio como agente floculante en el tratamiento de sus suministros de agua, algunos de estos suministros no necesitan tratamientos con floculantes mientras que otros no son potables sin tratamiento debido a su contenido de lodos, compuestos químicos presentes de forma natural, bacterias y virus causantes de enfermedades. Existe una recomendación de la OMS sobre contenido de aluminio en el agua potable proveniente de plantas de tratamiento establecido 0,1 mg/l para grandes instalaciones y 0,2 mg/l para pequeñas, basada en la optimización práctica del proceso. Todas las aguas contienen aluminio, en aguas neutras está presente como compuestos insolubles, y en aguas altamente ácidas o alcalinas se puede presentar en solución.

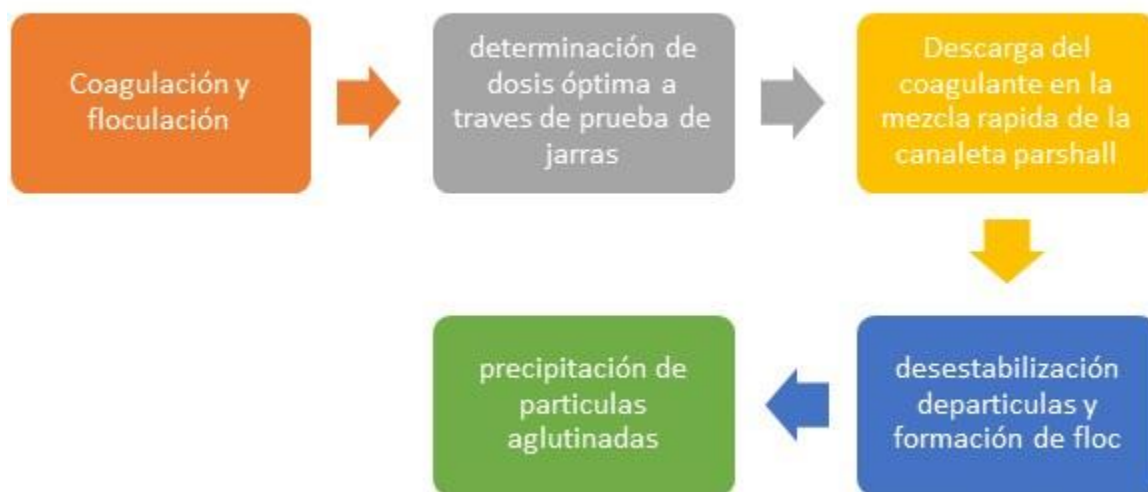
Coagulación y floculación

La coagulación floculación del agua constituye el proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento, de aquella depende casi por completo la mayor o menor eficiencia del proceso subsiguiente: el de la separación de sólidos por sedimentación y filtración (Imagen 1). La remoción de turbiedad en los sedimentos y en filtros, así como la calidad del agua que se obtenga en ellos, se relaciona directamente con la manera como las partículas son desestabilizadas y con la intensidad de las fuerzas que los aglutina. La coagulación comienza cuando se agregan los coagulantes, dura solamente fracciones

de segundos y consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad y el agua misma; este proceso involucra una desestabilización de las partículas suspendidas, este coagulante se trata de un producto químico cuya función es producir desestabilización y aglutinación de los sólidos en suspensión en el agua. El agua residual contiene material suspendido que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersos que no sedimentan con facilidad Ortiz y Vargas (2016). La mayor parte de los sólidos que no sedimentan pueden ser coloides, las partículas se encuentran estabilizadas por cargas de igual signo sobre su superficie haciendo que se repelan impidiendo el choque de las partículas y la formación de masas mayores denominadas flóculos Aguilar (2002).

Imagen 1

Diagrama de flujo proceso de coagulación y floculación



Coagulantes inorgánicos

Son los más utilizados para el tratamiento de aguas residuales, debido a su rendimiento, disponibilidad, costo y efectividad Shak y Wu (2014). Poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes, cuando son disueltos estos forman compuestos complejos hidratados. Entre los más utilizados se hallan, sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio. Aunque estas sales químicas, presentan alta capacidad de coagulación- floculación, pueden llegar a ser nocivos para la salud humana y el medio ambiente.

Sulfato de aluminio

Es una sustancia química convencional la cual ha sido usada en la clarificación del agua, sin embargo, según Romero, Solórzano, Brizuela y Pérez (2007) los pacientes con Alzheimer tienen niveles elevados de aluminio en plasma con respecto a pacientes con otras patologías. En estudios epidemiológicos se ha hallado una estrecha relación entre el número de casos de Alzheimer y el contenido de aluminio en el agua consumida. El sulfato de aluminio en cantidades no óptimas es potencialmente una sustancia peligrosa para la salud de las personas y también para el medio ambiente donde se utilice.

Coagulantes orgánicos sintético

Los coagulantes orgánicos son polímeros solubles en agua que están basados en unidades repetidas de varios monómeros tales como acrilamida y ácido acrílico. En la mayoría de los casos, se derivan de materias primas basadas de petróleo y no renovables Suopajarvi, Liimatainen, Horm y Niinimäki, (2013). Generalmente, los polímeros sintéticos se clasifican en catiónico, aniónico, anfótero y no iónico. La capacidad coagulante es principalmente influenciada por parámetros como la naturaleza de las cargas, seguida por el peso molecular y la densidad de carga Bolto y Gregory (2007). Los tipos de floculantes más efectivos son las

poliacrilamidas ligeramente aniónicas con masas moleculares muy elevadas que se aplican en muy bajas concentraciones, lo que compensa su alto precio Arboleda (2000). Actualmente se emplea una gran variedad de polímeros orgánicos sintéticos, sin embargo, la toxicidad de estos productos es un factor de importancia en tanto que en ocasiones los monómeros que los componen pueden ser tóxicos, como lo son los monómeros acrílicos.

Coagulantes orgánicos

Se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos Renault, Sancey, Badot y Crini (2009); Antov y Petrović (2010); Fatombi, Lartiges, Aminou, Barres y Caillet (2013) en su mayoría son de origen vegetal, con presencia de agentes coagulantes activos como carbohidratos, taninos y proteínas. Algunas especies vegetales que presentan estudios realizados son las semillas de una enorme variedad plantas como las semillas de maíz, nirmali, el frijol común entre otros. El material que ha recibido mayor grado de atención son las semillas de Moringa oleífera gracias a sus componentes activos, los cuales son proteínas catiónicas de diferentes pesos moleculares, además de poseer capacidad antimicrobiana Okuda, Nishijima y Okada (1999).

Moringa

Es una planta de la cual podemos extraer la semilla triturada la cual tiene propiedades de coagulación especialmente en el agua. La efectividad de la moringa la hace similar a otros agentes coagulantes y su mecanismo de coagulación consiste en adsorción y neutralización de las cargas coloidales. La dosis óptima de esta sustancia se hace más efectiva cuando se utiliza la semilla sin cáscara, es muy recomendable a la hora de ser utilizada como clarificante del agua debido a que no afecta los parámetros fisicoquímicos en comparación con otras sustancias que

alteran pH y conductividad del agua después del tratamiento. El lodo producido por la moringa es de cuatro a cinco veces menor que el lodo químico producido por la coagulación de otros agentes. Ndabigengesere, Narasiah (1995); Okuda, Nishijima y Okada (1999); Nkurunziza, Nduwayezu, Banadda y Nhapi (2009),

Plátano

Es una planta la cual se cultiva en diferentes zonas del país, se da a una temperatura media de 26 a 27 °C con lluvias permanentes es un alimento muy consumido y con buenas propiedades que ayudan a la salud de las personas. Entre estas propiedades encontramos el almidón que se extrae de este el cual contiene polímeros que tienen cualidades coagulantes en el agua. Según estudios realizados por Trujillo, Duque, Arcila, Rincón, Pacheco y Herrera (2014) el almidón del plátano es muy eficiente como coadyuvante en la coagulación del agua y efectúa un trabajo eficiente, por lo cual puede ser utilizado de manera libre ya que no altera las propiedades fisicoquímicas del agua tratada, de igual manera su comercialización es muy fácil y se puede conseguir en cualquier zona del territorio nacional.

Yuca

Es una planta que tiene su origen en la cuenca amazónica, su gran ventaja es que se puede cultivar en tierras ácidas que no poseen mucha fertilidad y es resistente épocas de sequía o verano, se puede sembrar desde el nivel de mar hasta los 1800 msnm con temperaturas entre 20 y 30 °C, la yuca tienen varias finalidades una de las más importantes es la alimentación diaria de las personas de diferentes zonas del país, entre las propiedades de este producto encontramos el almidón el cual tiene diferentes usos en la industria, actualmente según Alcocer, Ocaña, Balcázar y Gonzales (2018) en estudios realizados se pudo obtener resultados muy favorables en donde el almidón de yuca como polímero natural es muy efectivo al ser combinado con sustancias como

sulfato de aluminio líquido, sulfato ferroso en diferentes proporciones. La mezcla más efectiva en experimentos realizados fue la mezcla de sulfato de aluminio con el almidón de yuca en una proporción de 50/50 en donde se obtuvo una remoción mayor. Alcocer, Ocaña, Balcázar y Gonzales (2018).

Metodología

El área de estudio se encuentra en la vereda rancho largo en la cual encontramos la bocatoma que se encarga de captar el agua cruda y llevarla a la planta de tratamiento, esta estructura es de tipo transversal con rejilla y cuenta con un desarenador. La vegetación que la rodea es espesa debido a la poca presencia del hombre lo cual es una ventaja para la conservación de este espacio tan importante para la comunidad.

Imagen 2

Bocatoma acueducto Rancho largo



Imagen 3

Microcuenca de la quebrada oscura

**Imagen 4**

Desarenador en la bocatoma de la quebrada oscura



Muestreo

Se realizaron toma de muestras puntuales en el sitio en la bocatoma ubicada en la quebrada oscura donde se capta el agua que es utilizada para abastecer la planta de tratamiento del acueducto veredal rancho largo, se efectuó una toma de muestra para análisis microbiológico, una toma para las muestras fisicoquímicas y una toma para las pruebas de jarras.

Toma de muestra para análisis físico químico

Se utilizaron frascos polietileno en buen estado cada uno con una capacidad mínima de 1000 ml con tapa de rosca, estas muestras se harán en el sitio de captación más exactamente en los desarenadores, para el transporte de estas se utilizó una nevera de hiepor con geles congelados para conservar la cadena de frío, no se utilizó ningún conservante.

Toma de muestra para análisis microbiológico

Se utilizaron frascos de vidrio en buen estado debidamente esterilizados con tapas de rosca de cierre hermético, la capacidad mínima de volumen fue de 300 ml, los recipientes deben esterilizarse como mínimo durante 20 minutos a 121 ° C y 1 atmósfera de presión en autoclave; o empleando cualquier técnica de esterilización seca equivalente como un horno durante 1 hora a 180° C. Puede emplearse también material desechable estéril, esta muestra fue transportada en una nevera de hiepor con geles congelados para conservar la cadena de frío, no se utilizó ningún tipo de conservante.

Análisis físico químico

Para el propósito de esta investigación se realizaron análisis químicos para conocer el estado de los parámetros del agua a analizar y también los que influyen directamente en el proceso de la coagulación, estos parámetros son PH, alcalinidad, aluminio residual, conductividad, nitritos, dureza y Cloruros.

Potencial de hidrogeno Ph

Este se realizó por el método de potenciómetro el cual consta de un electrodo estándar de hidrógeno y un electrodo de referencia que determinará la actividad de iones de hidrógeno, el equipo que se va a utilizar este parámetro es un multiparámetro HACH HQ40d. Giraldo y Ortiz (1999).

Alcalinidad

Este se llevó a cabo mediante el método de volumetría tradicional en presencia de indicadores, fenolftaleína viraje pH 8.3, y mixto verde de bromocresol viraje pH 4.5. Giraldo y Ortiz (1999).

Fórmula 1

Determinación de alcalinidad

$$\text{Alcalinidad} = \frac{V_T * N_{HCl} * 50.000}{V_m}$$

Dónde:

V_T = Volumen usado de HCl

N_{HCl} = Normalidad del HCl

V_m = Volumen de la muestra de agua

Nota. Adaptado de Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 5

Diagrama de flujo determinación de alcalinidad



Aluminio residual

Este parámetro se realizó con el método colorimétrico por medio de un kit de aluminio (Mcolortest test de aluminio) el cual trae el manual de funcionamiento para aplicar sus reactivos indicados.

Imagen 6

Diagramas de flujo determinación de aluminio residual



Conductividad

El método utilizado fue el electrométrico por medio de un conductídimetro debidamente verificado el equipo a utilizar es multiparámetro HACH HQ40d. Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 7

Diagrama de flujo determinación de conductividad



Cloruros

Se realizó por el método argentométrico en donde el cromato de potasio puede indicar el punto final de titulación de cloruros con nitrato de plata, se precipita el cloruro de plata cuantitativamente antes de formarse el cromato de potasio. Cambiando a un color rojo. Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 8

Diagrama determinación de cloruros



Dureza

Esta se determinó por medio del método titulométrico con titriplex EDTA, el cual consiste en agregar a la muestra una pasta de tampón y seguidamente 1 ml de hidróxido de amonio y posteriormente se procede a titular con titriplex. Giraldo y Ortiz (1999).

Fórmula 2

Determinación de dureza

$$Dureza = \frac{V_{EDTA} \cdot N_{EDTA} \cdot 100.000}{V_m}$$

Dónde:

V_{EDTA} = Volumen usado de EDTA

N_{EDTA} = Normalidad del HCl

V_m = Volumen de la muestra de agua

Nota. Adaptado de Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 9

Diagrama de flujo determinación de dureza

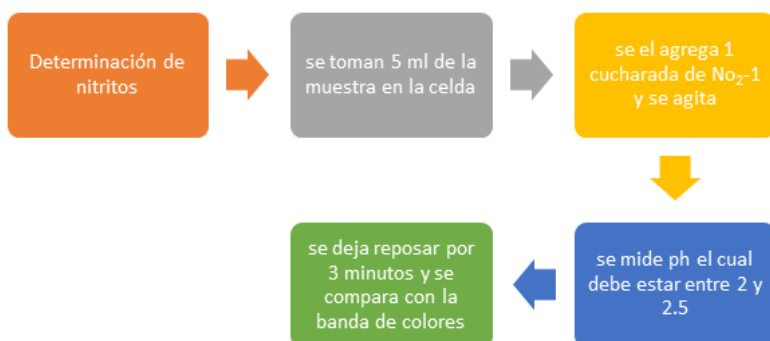


Nitritos

Método colorimétrico en donde se utiliza un kit (Mcolortest Nitrite test) el cual trae los reactivos indicados para este análisis. Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 10

Diagrama de flujo determinación de Nitritos

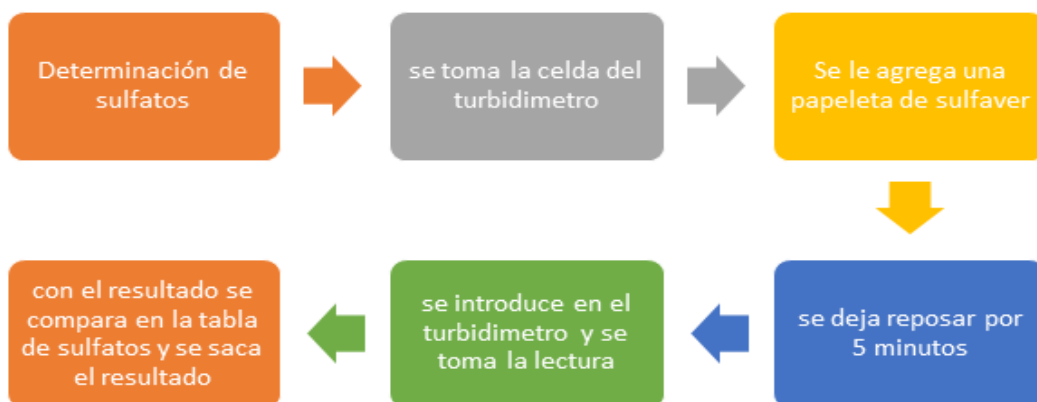


Sulfatos

Se utilizó el método nefelométrico (turbidímetro) el cual consiste en adicionar reactivo llamado sulfaver a 10 ml de muestra se agita se deja reposar por 5 min y se le toma la turbiedad y se compara con las tablas de sulfatos, para esta actividad se utilizara un turbidímetro (VELP scientifica) y como reactivo (sulfaver Permachem Reagents HACH). Giraldo y Ortiz (1999).

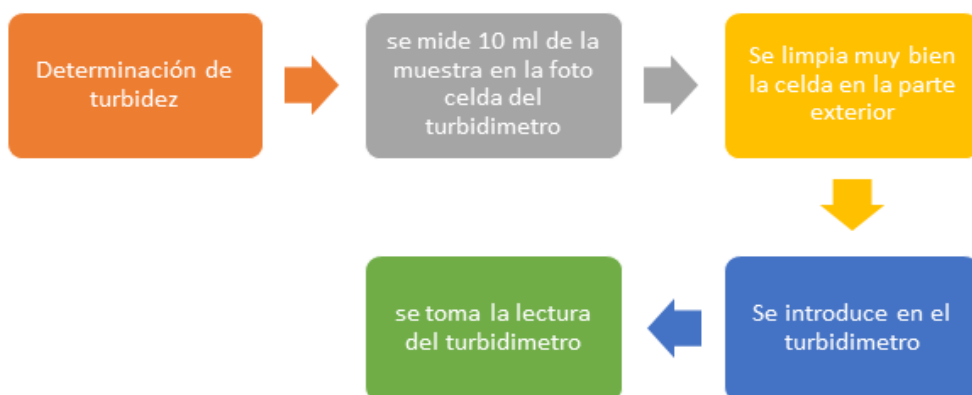
Imagen 11

Diagrama de flujo determinación de sulfatos

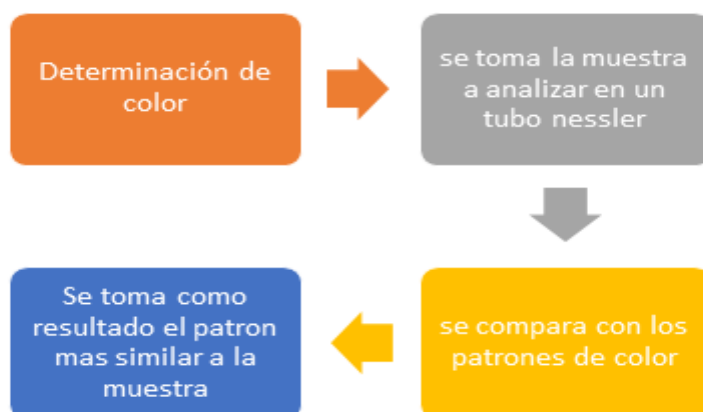


Turbidez

Se obtuvo por medio del método nefelométrico por medio de un turbidímetro (VELP scientifica) que capta el rayo de luz después de hacerlo pasar por la muestra. Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 12*Diagrama de flujo determinación de turbidez***Color**

Se utilizó el método de comparación visual por medio de los patrones de color preparados con solución madre de color 500 UPC. Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 13*Diagrama de flujo determinación de color*

Temperatura

Es una medida de cuan caliente o frío se encuentra una sustancia o elemento, medida en una escala definida, puede ser Kelvin, Celsius, Fahrenheit, Rankine y Reaumur. La temperatura cambia el tiempo de formación del flóculo, mientras más fría se encuentre el agua más lenta será la reacción del agente coagulante y por ende el tiempo de formación del flóculo será mayor, para este parámetro se utilizará un termómetro comercial.

Imagen 14

Diagrama de flujo determinación de temperatura

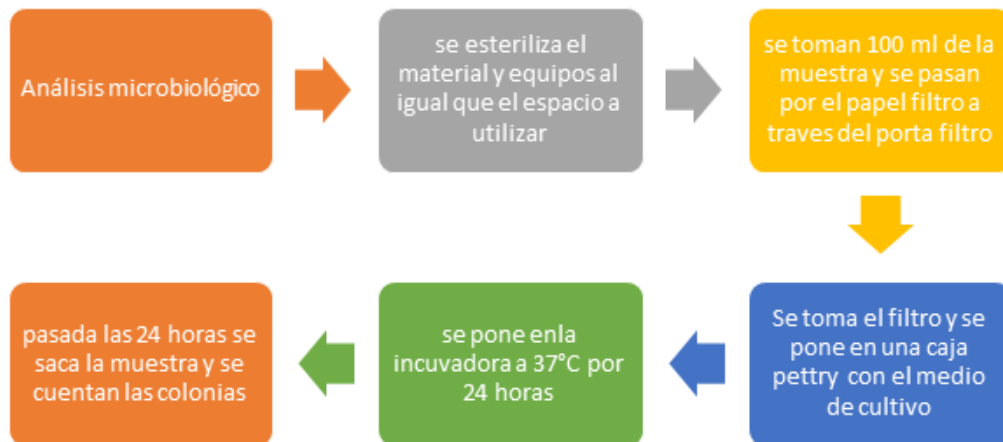


Análisis microbiológico

Este parámetro fue medido por la técnica de filtración por membrana en donde se tendrá como medio de cultivo el m-colibblue24. Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 15

Diagrama de flujo análisis microbiológico

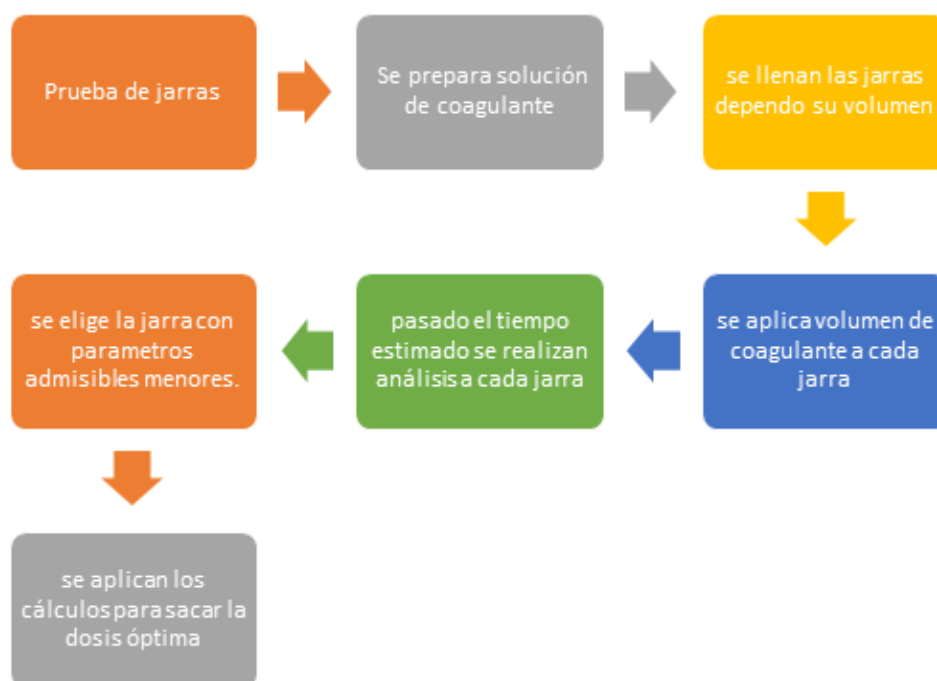


Prueba de jarras

proceso por medio del cual se realizó una prueba de laboratorio con un jartex (E & Q Flocculador) aplicando diferentes volúmenes de coagulante en jarras para determinar la dosis óptima que necesita el agua a tratar en esos momentos para remover turbidez y color, se aplican los volúmenes de la solución preparada en las jarras el mismo tiempo dejando por 5 segundos a 300 rpm y seguidamente 40 rpm por 20 min, cuando termine el tiempo estipulado se deja reposar por 15 min y se procede a analizar los parámetros anteriormente mencionados. Giraldo y Ortiz (1999).

Imagen 16

Diagrama de flujo prueba de jarras



Preparación de soluciones al 1%

Para la preparación de las soluciones al 1% se utiliza la formula %p/v la cual nos permite saber cuántos granos de reactivo debemos aplicar a cierta cantidad de solvente, estas soluciones son utilizadas entre otras cosas para realizar ensayos para hallar dosis óptimas en sistemas de tratamiento de aguas.

Determinación de dosis óptima

Para hallar la dosis óptima se utilizara un jartex el cual nos servirá como instrumento para aplicar diferentes volúmenes de coagulante y determinar cuál de las jarras nos da los mejores parámetros siempre teniendo en cuenta la resolución 2115 de 2007 la cual nos da las medidas admisibles. Cuando se determine la jarra con los mejores parámetros de color, turbidez y ph y se aplica el siguiente procedimiento, dependiendo la concentración y el volumen con el cual se

preparó la solución de coagulante se realiza una regla de tres. Ejemplo: Si a 100ml le agregamos 1000 mg para preparar la solución al 1%, a ? ml (el volumen de la jarra que mejor nos dio los parámetros) cuantos mg me equivalen.

$$\frac{100ml}{? ml} = \frac{1000mg}{X} = \frac{1000mg * ? ml}{100ml} = \text{Dosis óptima}$$

Descarga del dosificador

Para hallar este resultado utilizaremos la siguiente fórmula:

Fórmula 3

Determinación descarga del dosificador

$$DD = \frac{Q * D * 60}{1000}$$

DD: Descarga del dosificador gr/min

Q: Caudal l/s

D: Dosis óptima mg/l

60: Factor de conversión de segundos a minutos

Nota. Adaptado de determinación descarga del dosificador. Giraldo y Ortiz (1999).

Extracción del almidón de la yuca, el plátano y la semilla de la moringa

La obtención de polímeros orgánicos para el tratamiento de aguas está basado en la extracción de sus propiedades coagulantes ya que estas tienen el poder de desestabilizar las moléculas de turbiedad presentes en el agua y como tal permite su atracción y finalmente su precipitación. Trujillo y Montoya (2014)

Extracción de la semilla de la moringa

Las semilla de Moringa Oleífera presentan en su composición un alto contenido de aceite vegetal el cual debe ser extraído para poder así aprovechar la proteína que las semillas contienen la cual es importante durante el proceso de coagulación del agua. Para la extracción del aceite procedente de las semillas de Moringa Oleífera fue necesario en primera instancia someterlas a un proceso de descascarado manual eliminando así éste elemento el cual no es necesario durante el proceso de preparación de los coagulantes, lista la semilla se procede a realizar el prensado en frio para lo cual se utiliza una prensa hidráulica especial para la extracción de este tipo de aceites, obtenido el aceite se recupera la torta o semilla prensada la cual se pone a secar, posteriormente es triturada y como resultado se obtiene el coagulante en polvo de la semilla de la moringa. Jairo, Díaz y Roa (2014).

Extracción del almidón de la yuca

Inicialmente se lava y pela la yuca luego es macerada finamente por medio de la superficie cortante del cilindro y de las cuchillas que actúan como rayos, convirtiéndola en una pasta de ralladura de yuca y liberando el almidón. En seguida, el almidón y el agua (lechada de almidón) son separados las coladoras mecánicas (filtrado) de las fibras y proteínas que las raíces contienen. La lechada de almidón pasa a una zaranda auxiliar con malla para retener impurezas y el agua y el almidón son separados en los canales de sedimentación, en los cuales los gránulos de diverso tamaño se sedimentan en el fondo, quedando el almidón en el fondo y seguidamente es llevado a una temperatura de 40 a 50° para eliminar las trazas de agua. Torres Y Rojas (2005)

Extracción del almidón del plátano

Este proceso consta de varios pasos selección y pesado: se seleccionan los plátanos más sanos y se pesa la muestra para iniciar el proceso. Lavado: se somete a un lavado con agua

potable y después es sumergido por 10 minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 1%.

Pelado: Inmediatamente después del lavado se separa la cáscara de la pulpa del plátano.

Tratamiento químico: La pulpa se sumerge en un contenedor de plástico con ácido cítrico al 3%

por 15 minutos para evitar el pardeamiento en el proceso. Rebanado: Se trozan los plátanos en

rodajas de 4 mm aproximadamente. Secado: se llevan las rodajas a deshidratar en una bandeja

de secado a 40°C durante 10 horas. Molido y tamizado: se pasa por un molino para triturar y

también por un tamiz para eliminar impurezas y gránulos grandes. Miguel, Ángela y Mario

(2008)

Resultados

Toma de muestras para análisis fisicoquímicos

Se recolectaron 1000 ml de agua en el desarenador ubicado en la bocatoma de la quebrada oscura realizando todos los protocolos para esta toma de muestra, por otro lado se recolectó 108 litros de agua para realizar los ensayos de jarras.

Caracterización fisicoquímica del agua

Se tuvo en cuenta los parámetros más importantes para obtener información exacta de cómo se encuentra la quebrada oscura y poder realizar los procedimientos correctamente, los resultados obtenidos los podemos observar en la tabla 1.

Tabla 1

Resultados caracterización fisicoquímica

PARÁMETRO	RESULTADO	TÉCNICA
Potencial de hidrogeno (Ph)	6.94	Electrométrico
Alcalinidad (mgCaCo3/l)	7.6	Titulométrico
Aluminio residual (mg/l Al + 3)	0.12	Comparación visual
Conductividad (μs/cm)	30.4	Electrométrico
Cloruros (mgCl-/l)	3.22	Titulométrico
Dureza (mgCaCo3/l)	17.5	Titulométrico
Nitritos (mgNO2/l)	0.03	Comparación visual
Sulfatos (mgSO4/l)	2.5	Comparación visual
Turbidez (NTU)	37.7	Nefelómetro
Color (UPC)	210	Comparación visual
Temperatura (°C)	20	Electrométrico
Hierro (mgFe/l)	0.02	Comparación visual

Toma de muestra de agua para análisis microbiológico

Se tomó 1 litro de agua en un frasco debidamente esterilizado con anterioridad teniendo en cuenta las buenas prácticas de toma de muestras.

Análisis microbiológico

De la realización de este análisis se obtuvieron dos resultados teniendo en cuenta dos tipos de bacterias la Escherichia coli y coliformes los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2

Resultados análisis microbiológicos

RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	
BACTERIAS	# DE COLONIAS
ESCHERICHIA COLI	26
COLIFORMES	648

Imagen 17

Resultado microbiológico

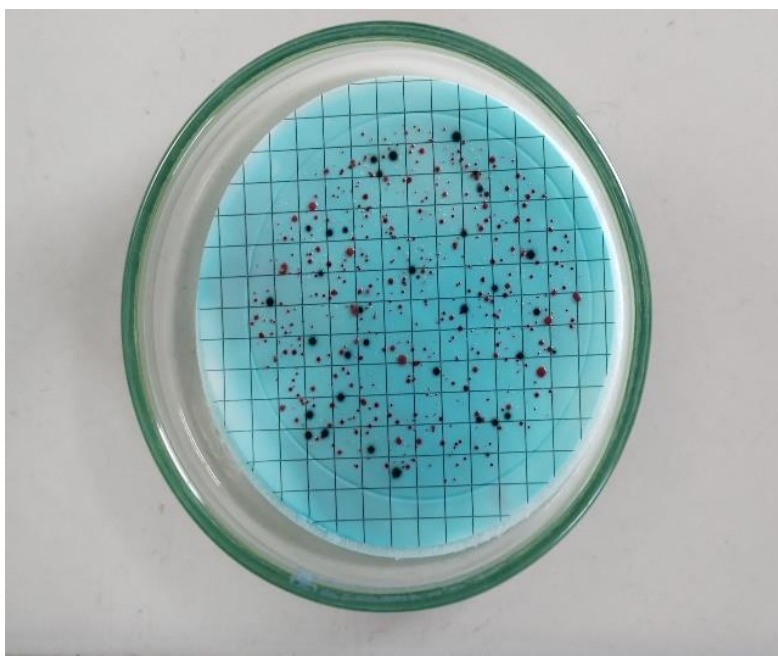


Imagen 18

Resultado microbiológico



Extracción de coagulantes orgánicos

La extracción de los coagulantes orgánicos se le hizo a la semilla de la moringa, el almidón de la yuca y el almidón del plátano, con estos se realizaron los ensayos de jarras de la siguiente manera.

Extracción del almidón del plátano

Esta extracción consiste en cinco pasos desinfección, tratamiento químico, rebanado, secado y triturado.

Desinfección. Se utilizó hipoclorito comercial al 5.25%, se preparó una solución al 1% de la siguiente manera.

Fórmula 4

Solución hipoclorito al 1%.

$$1\% \text{ v/v} = \frac{¿? \text{ ml}}{10000 \text{ ml}} * 5.25\% \quad ¿? \text{ ml} = \frac{1\% * 10000 \text{ ml}}{5.25\%} = 1904.8 \text{ ml}$$

Nota. Adaptado de Giraldo y Ortiz (1999).

Se midieron 1904.8 ml de hipoclorito comercial al 5.25% y se llevaron a 10000 ml con agua, y se dejaron en remojo por un lapso de tiempo de 10 minutos.

Imagen 19

Desinfección del plátano



Tratamiento químico. Se realizó una solución de ácido cítrico al 3% de la siguiente manera

Fórmula 5

Ácido cítrico al 3%

$$3\% \text{ v/v} = \frac{? \text{ gr}}{1000 \text{ ml}} * 100\% = ? \text{ gr} = \frac{3\% * 1000 \text{ ml}}{100\%} = 30 \text{ gr}$$

Nota. Adaptado de Giraldo y Ortiz (1999).

Se cogió 500 ml de agua y se le agregaron 30 gramos de ácido cítrico y se llevó a 1000 ml con agua para obtener una solución al 3%, se deja por 15 minutos en remojo el plátano después de haberlos pelado.

Imagen 20

Acidificación y pelado del plátano



Rebanado. Se tomó los trozos de plátano y se cortan en rebanadas aproximadamente de 4 mm cada una.

Imagen 21

Rebanado del plátano



Secado. Se esparcen las tajadas de plátano y se ponen a secar con el sol el tiempo suficiente para que queden bien secas.

Imagen 22

Secado del plátano rebanado



Triturado. Se reúnen las rebanadas de plátano y se llevan a un molino convencional, obteniendo el almidón en polvo.

Imagen 23

Triturado del plátano



Extracción del almidón de la yuca

Esta extracción consta de cinco pasos en donde se transforma la yuca en almidón, lavado, pelado y picado en trozos pequeños, molido, filtración y secado

Lavado, pelado y picado en trozos pequeños. Se lava la yuca con abundante agua y se procede a quitarle la corteza.

Imagen 24

Lavado y pelado de la yuca



Molido. Se cogió los trozos pequeños y se muelen con un molino convencional y se repite el procedimiento para garantizar una pulpa muy menuda

Imagen 25

Molido de la yuca



Filtración. Se le agrega a la pulpa un poco de agua y posteriormente se pasa por una tela tupida la cual sirve de filtro y dejara salir el sumo de la yuca, este sumo se deja reposar por 1 hora, tiempo en el cual el almidón se separa del agua quedando en la parte inferior del recipiente tornándose de un color blanco.

Imagen 26

Filtración pulpa de la yuca



Secado. cuando se obtiene el almidón del fondo del recipiente donde reposo, se pone a secar ya sea por el efecto del sol o en una bandeja de secado a 40° C hasta quedar bien deshidratado, obteniendo el almidón de la yuca en polvo.

Imagen 27

Deshidratación almidón



Extracción de la semilla triturada de la moringa

La semilla de la moringa triturada se extrajo por medio de un método llamado prensado en frío, el cual consiste en prensar las semillas de la moringa debidamente preparadas hasta extraer su aceite y posteriormente obtener la semilla triturada.

Descascarado de la semilla. Cada semilla que fue sometida al prensado en frío, con antelación se seleccionó según su tamaño y posteriormente se le extrajo la corteza para dejar solamente el contenido interno que es el que suministra las propiedades coagulantes.

Imagen 28

Semilla moringa



Prensado de la semilla. Teniendo la semilla lista se procedió a realizar el prensado con la prensa hidráulica obteniendo la semilla libre de aceite la cual fue utilizada para la realización de los ensayos de jarras.

Imagen 29

Prensado de la semilla de moringa



Secado de la semilla comprimida. Una vez extraído el aceite, se toma la torta resultante del proceso y se puso a secar ya que de esta es la que nos dará el coagulante en polvo.

Imagen 30

Secado de la semilla de la moringa



Triturado de la semilla comprimida. Una vez secada la torta resultante de la extracción, se procedió a triturarle hasta quedar en polvo fino el cual será nuestro coagulante.

Imagen 31

Semilla de moringa triturada



Pruebas de jarras

Se realizaron prueba de jarras a la muestra de agua tomada de la fuente hídrica llamada quebrada oscura la cual abastece el acueducto veredal de rancho largo, utilizando como coagulantes los productos orgánicos extraídos de la moringa, la yuca y el plátano.

Prueba de jarras con el almidón del plátano

Se realizaron 3 pruebas utilizando como coagulante el almidón del plátano.

Ensayo N° 1, Almidón de plátano. Se efectúan prueba de jarras tomando como coagulante el almidón de plátano al 1%, se realiza en un jartex de 6 jarras con un volumen de

2000 ml cada uno.

Tabla 3

Resultados prueba de jarras 1 almidón de plátano

Prueba n° 1 almidón de plátano						
mezcla rápida (min)		0.083	revoluciones por minuto: 150			
mezcla lenta (min)		20	revoluciones por minuto: 40			
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 36.5			alcalinidad (mg/lcaco3): 5.7			
color (upc): 150		temperatura (°c):		ph: 7.09		
datos solución coagulante						
coagulante: almidón de plátano			concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	17.71	9.73	100
2	8	40	0	14.34	9.43	70
3	10	50	0	11.69	9.23	70
4	12	60	0	13.94	9.48	60
5	14	70	0	12.75	9.44	70
6	15	75	0	12.07	9.13	70

Ensayo N° 2, Almidón de plátano. Se realiza prueba de jarras tomando como coagulante el almidón de plátano al 1%, se realiza en jartex de 6 jarras cada una con un volumen de 2000 ml

Tabla 4*Resultados prueba de jarras 2, almidón de plátano*

prueba n° 2 almidón de plátano						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto: 150		
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto: 40		
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 72.7			alcalinidad (mg/lcaco3): 7			
color (upc): 310		temperatura (°c): 21		ph: 7.09		
datos solución coagulante						
coagulante: almidón de plátano			concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentració n solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbieda d final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	11.87	7.21	60
2	8	40	0	13.14	7.28	70
3	10	50	0	11.87	7.22	30
4	12	60	0	10.20	7.21	50
5	14	70	0	9.72	7.21	50
6	15	75	0	10.38	7.17	50

Ensayo N° 3, Almidón de plátano. Se realiza prueba de jarras tomando como coagulante el almidón de plátano al 1%, se realiza en jartex de 6 jarras cada una con un volumen de 2000 ml

Tabla 5*Resultados prueba de jarras 3, almidón de plátano*

prueba n° 3 almidón de plátano						
mezcla rápida 0.083 (min)		revoluciones por minuto: 150				
mezcla lenta 20 (min)		revoluciones por minuto: 40				
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 64.1		alcalinidad (mg/lcaco3): 12				
color (upc): 170		temperatura (°c): 21			ph: 7.22	
datos solución coagulante						
coagulante: almidón de plátano			concentración de la solución (% p/v):			1
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	20.6	7.22	120
2	8	40	0	18.6	7.21	90
3	10	50	0	18.05	7.17	100
4	12	60	0	14.43	7.13	100
5	14	70	0	13.63	7.16	90
6	15	75	0	15.99	7.11	90

Prueba de jarras con el almidón de yuca

Se realizaron 3 pruebas utilizando como coagulante el almidón de yuca al 1%

Ensayo N° 1, almidón de yuca. Se realizó prueba de jarras tomando como coagulante el almidón de yuca al 1%, se realiza en jartex de 6 jarras cada una con un volumen de 2000 ml.

Tabla 6*Resultados prueba de jarras 1, almidón de yuca*

prueba nº 1 almidón de yuca						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto: 150		
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto: 40		
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 74.70				alcalinidad (mg/lcaco3): 6		
color (upc): 260		temperatura (°c): 21		ph: 7.04		
4datos solución coagulante						
coagulante: almidón de yuca				concentración de la solución (% p/v):		1
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentració n solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbieda d final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	37.1	7.05	170
2	8	40	0	38.3	7.11	170
3	10	50	0	40.4	7.07	170
4	12	60	0	37.2	7.08	180
5	14	70	0	34.6	7.05	110
6	15	75	0	33.6	7.06	120

Ensayo N° 2, almidón de yuca. Se realiza prueba de jarras tomando como coagulante el almidón de yuca al 1%, se realiza en jartex de 6 jarras cada una con un volumen de 2000.

Tabla 7*Resultados prueba de jarras 2, almidón de yuca*

prueba n° 2 almidón de yuca						
mezcla rápida (min)		0.083	revoluciones por minuto: 150			
mezcla lenta (min)		20	revoluciones por minuto: 40			
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 56.5			alcalinidad (mg/lcaco3): 12			
color (upc): 280		temperatura (°c): 22		ph: 7.24		
4datos solución coagulante						
coagulante: almidón de yuca			concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentració n solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbieda d final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	15.96	7.28	70
2	8	40	0	16.64	7.31	70
3	10	50	0	17.70	7.32	60
4	12	60	0	14.96	7.26	70
5	14	70		14.50	7.25	70
6	15	75	0	12.58	7.20	70

Ensayo N° 3, almidón de yuca. Se realiza prueba de jarras tomando como coagulante el almidón de yuca al 1%, se realiza en un jartex de 6 jarras con un volumen de 2000 ml cada uno.

Tabla 8*Resultados prueba de jarras 3, almidón de yuca*

prueba n° 3 almidón de yuca						
mezcla rápida (min)		0.083		revoluciones por minuto: 150		
mezcla lenta (min)		20		revoluciones por minuto: 40		
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 86.3			alcalinidad (mg/lcaco3): 12			
color (upc): 240		temperatura (°c): 20		ph: 7.18		
datos solución coagulante						
coagulante: almidón de yuca			concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	14.75	7.22	80
2	8	40	0	15.3	7.26	90
3	10	50	0	15.41	7.25	100
4	12	60	0	15.10	7.23	100
5	14	70	0	14.10	7.18	100
6	15	75	0	18.5	7.16	110

Prueba de jarras con semilla de moringa

Para realizar esta prueba se efectuaron tres ensayos, tomando como coagulante el de la semilla de la moringa triturada preparando una solución al 1%.

Ensayo N° 1, semilla de moringa. Se realizó la prueba con un jartex de seis jarras y solución de la semilla de moringa al 1%.

Tabla 9

Resultados prueba de jarras 1, semilla de moringa

prueba n° 1 semilla de moringa						
mezcla rápida (min)		0.083	revoluciones por minuto: 150			
mezcla lenta (min)		20	revoluciones por minuto: 40			
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 35.9			alcalinidad (mg/lcaco3): 16			
color (upc): 150		temperatura (°c): 20		ph: 7.14		
4datos solución coagulante						
coagulante: semilla de moringa			concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	9.65	7.22	60
2	8	40	0	8.22	7.20	60
3	10	50	0	10.21	7.17	70
4	12	60	0	14.20	7.07	100
5	14	70	0	10.98	7.06	70
6	15	75	0	9.9	7.06	60

Ensayo N° 2, semillas de moringa. Se realizó la prueba con un jartex de seis jarras y

solución de la semilla de moringa al 1%.

Tabla 10

Resultados prueba de jarras 2, semilla de moringa

prueba n° 2 semilla de moringa						
mezcla rápida (min)		0.5	revoluciones por minuto: 150			
mezcla lenta (min)		20	revoluciones por minuto: 40			
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 51.2			alcalinidad (mg/lcaco3): 16			
color (upc): 180		temperatura (°c): 20		ph: 7.15		
datos solución coagulante						
coagulante: semilla de moringa			concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol. solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentració n solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbieda d final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	8.2	7.5	60
2	8	40	0	9.69	7.55	70
3	10	50	0	6.45	7.59	50
4	12	60	0	11.12	7.5	80
5	14	70	0	7.67	7.54	60
6	15	75	0	10.74	7.63	80

Ensayo N° 3, semillas de moringa

Se realizó la prueba con un jartex de seis jarras y solución de la semilla de moringa al 1%.

Tabla 11

Resultados prueba de jarras 3, semilla de moringa

prueba n° 3 semilla de moringa						
mezcla rápida (min)		0.5	revoluciones por minuto: 150			
mezcla lenta (min)		20	revoluciones por minuto: 40			
datos agua cruda						
fuente de abastecimiento: quebrada oscura						
turbiedad (ntu): 52.8			alcalinidad (mg/lcaco3): 16			
color (upc): 180		temperatura (°c): 20		ph: 7.18		
datos solución coagulante						
coagulante: semilla de moringa			concentración de la solución (% p/v):		1	
datos prueba de jarras						
volumen jarra (l): 2						
jarra no	vol solución coagulante adicionado a la jarra [ml]	concentración solución de coagulante en la jarra mg/l (ppm)	concentración solución de alcalinizante en la jarra mg/l (ppm)	turbiedad final [ntu]	ph final	color final [upc]
1	6	30	0	7.18	7.40	60
2	8	40	0	6.07	7.41	50
3	10	50	0	5.88	7.42	50
4	12	60	0	10.36	7.53	60
5	14	70	0	11.44	7.58	70
6	15	75	0	11.9	7.66	70

Análisis de resultados

Los datos experimentales obtenidos después de aplicar el diseño de experimento expuesto anteriormente, fueron procesados mediante el software STATGRAPHIC versión 4.1. Se realiza un análisis de varianza para evaluar el efecto del coagulante y la prueba sobre el porcentaje de remoción de turbidez y el porcentaje de remoción de color, de igual manera mediante la herramienta de Excel se realiza una comparación de los resultados arrojados entre los tres coagulantes para las mismas dosis añadidas.

Después de realizar los ensayos de jarras con cada uno de los coagulantes orgánicos postulados se obtuvieron una serie de resultados los cuales se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 12

Resultados ensayos de jarras

coagulante	pruebas	parámetros iniciales			parámetros finales			% remoción	
		turbiedad	ph	color	turbiedad	ph	color	turbiedad	color
almidón de plátano	prueba n° 1	36,7	7,09	150	17,71	9,73	100	51,7	33,3
					14,34	9,43	70	60,9	53,3
					11,69	9,23	70	68,1	53,3
					13,94	9,48	60	62,0	60,0
					12,75	9,44	70	65,3	53,3
					12,07	9,13	70	67,1	53,3
	prueba n° 2	72,7	7,09	310	11,87	7,21	60	83,7	80,6
					13,14	7,28	70	81,9	77,4
					11,87	7,22	30	83,7	90,3
					10,2	7,21	50	86,0	83,9
					9,72	7,21	50	86,6	83,9
					10,38	7,17	50	85,7	83,9
	prueba n° 3	64,1	7,22	170	20,6	7,22	120	67,9	29,4
					18,6	7,21	90	71,0	47,1
					18,05	7,17	100	71,8	41,2
					14,43	7,13	100	77,5	41,2
					13,63	7,16	90	78,7	47,1
					15,99	7,11	90	75,1	47,1

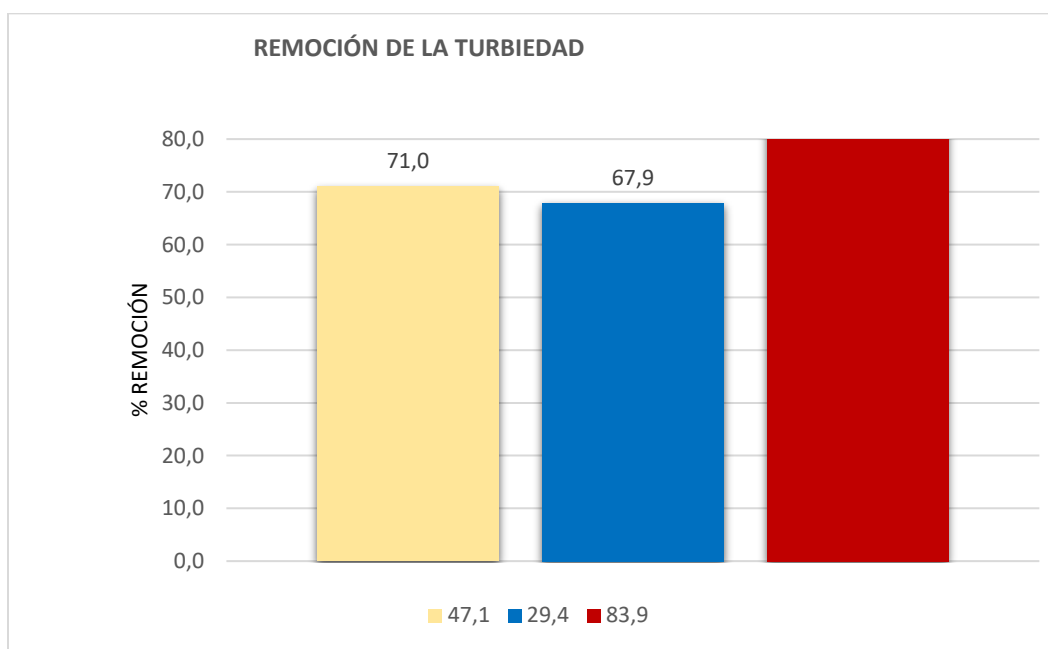
almidón de yuca	prueba n° 1	74,7	7,04	260	37,1	7,05	170	50,3	34,6
					38,3	7,11	170	48,7	34,6
					40,4	7,07	170	45,9	34,6
					37,2	7,08	180	50,2	30,8
					34,6	7,05	110	53,7	57,7
					33,6	7,06	120	55,0	53,8
	prueba n° 2	56,5	7,24	280	15,96	7,28	70	71,8	75,0
					16,64	7,31	70	70,5	75,0
					17,7	7,32	60	68,7	78,6
					14,96	7,26	70	73,5	75,0
					14,5	7,25	70	74,3	75,0
					12,58	7,2	70	77,7	75,0
	prueba n° 3	86,3	7,18	240	14,75	7,22	80	82,9	66,7
					15,3	7,26	90	82,3	62,5
					15,41	7,25	100	82,1	58,3
					15,1	7,23	100	82,5	58,3
					14,1	7,18	100	83,7	58,3
					18,5	7,16	110	78,6	54,2
semilla de moringa	prueba n° 1	35,9	7,14	150	9,65	7,22	60	73,1	60,0
					8,22	7,2	60	77,1	60,0
					10,21	7,17	70	71,6	53,3
					14,2	7,07	100	60,4	33,3
					10,98	7,06	70	69,4	53,3
					9,9	7,06	60	72,4	60,0
	prueba n° 2	51,2	7,15	180	8,2	7,5	60	84,0	66,7
					9,69	7,55	70	81,1	61,1
					6,45	7,59	50	87,4	72,2
					11,12	7,5	80	78,3	55,6
					7,67	7,54	60	85,0	66,7
					10,74	7,63	80	79,0	55,6
	prueba n° 3	52,8	7,18	180	7,18	7,4	60	86,4	66,7
					6,07	7,41	50	88,5	72,2
					5,88	7,42	50	88,9	72,2
					10,36	7,53	60	80,4	66,7
					11,44	7,58	70	78,3	61,1
					11,9	7,66	70	77,5	61,1

Turbiedad

Delo anterior podemos deducir que la semilla de la moringa fue el producto que obtuvo un resultado más favorable al remover en promedio un 78.8% de la turbiedad, seguida por el almidón de plátano con un 73.6%, y por último el almidón de la yuca con 68.5% en promedio, como se muestra en la siguiente gráfica.

Grafico 1.

Porcentaje de remoción de turbiedad.

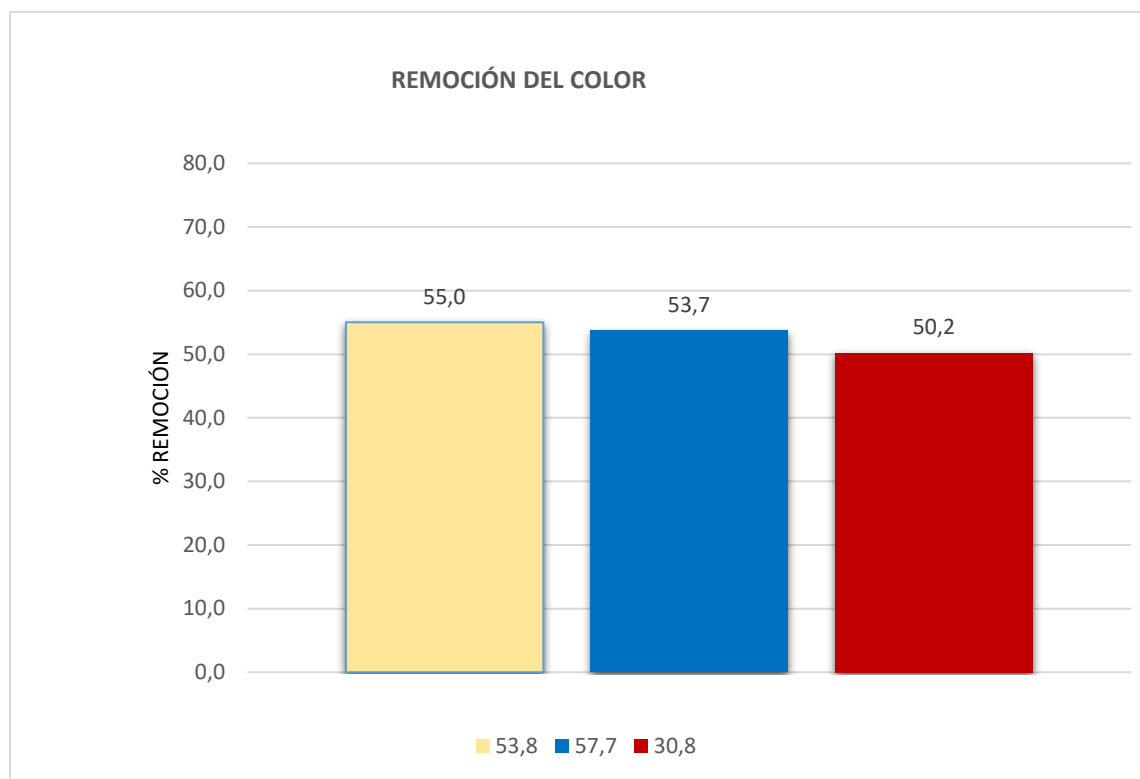


Color

Respecto al color, la semilla de la moringa obtuvo el primer lugar de remoción en promedio con un valor de 61%, seguida por el almidón del plátano con un 58.9% y el almidón de la yuca con un 58.8%, como se muestra en la siguiente gráfica.

Grafico 2.

Porcentaje de remoción de color.



Delo anterior podemos deducir que la semilla de la moringa fue el coagulante orgánico que obtuvo una mayor remoción en los ensayos realizados, para la turbiedad tuvo una efectividad de 62% y para el color 49.4% de remoción respectivamente como se muestra en la gráfica 4 y 5, la dosis optima que se le aplico a esta jarra fue de 50 ppm el ph final arrojado fue de 7.4 el cual está dentro del parámetro permisible, siendo la moringa la más efectiva en esta investigación no cumple con los porcentajes de remoción que tiene el sulfato de aluminio granulado por lo cual no puede reemplazarlo, sin embargo; se puede implementar como coadyuvante del mismo en el proceso de la coagulación rebajando la dosificación directa de aluminio y de esta forma minimizar la probabilidad de superar el parámetro permisible de 0.2 mg/l de aluminio,

garantizando así un agua potable que cumpla lo establecido en el decreto 1575 y la resolución 2115 de 2007, sin causar ningún riesgos a la salud de las personas.

Conclusiones

El poder de remoción de turbiedad y color de la semilla de la moringa fue la más efectiva de los tres coagulantes orgánicos, el porcentaje de remoción de esta no cumple con los valores permisibles por lo que no puede reemplazar el sulfato de aluminio, su implementación como coadyuvante en el proceso de coagulación rebajaría la aplicación directa de aluminio dosificándose proporcionalmente con el coagulante químico.

Cuando se trabaja con coagulantes orgánicos se obtiene un resultado positivo incluso con alcalinidades y ph bajos, contrario a los polímeros químicos que necesitan parámetros básicos para poder tener una reacción química eficaz.

Es importante seguir investigando en el tema de coagulantes orgánicos con el fin de encontrar resultados positivos que cumplan con los requerimientos establecidos y se pueda llegar a reemplazar el sulfato de aluminio granulado en el proceso de la coagulación.

Recomendaciones

A la hora de realizar la extracción de los almidones de los productos naturales escogidos (plátano, yuca moringa), se debe tener en cuenta la calidad de cada uno de productos que sean de calidad conforme a las especificaciones técnicas obtenidas, por otro lado es importante trabajar con equipos de buena calidad, que estén calibrados soportados por sus respectivos proveedores que generen confianza a la hora de emitir cualquier resultado.

Al realizar cualquier prueba o análisis en un laboratorio es necesario seguir todas las recomendaciones de seguridad teniendo en cuenta las buenas prácticas de laboratorio, evitando así cualquier contra tiempo que pueda causar lesiones al personal.

A la hora de realizar los análisis es necesario tener en cuenta los parámetros fisicoquímicos y organolépticos, con el fin de definir dosis y pretratamientos recomendados, de igual manera en el análisis de resultados es muy importante tener en cuenta el porcentaje de remoción tanto de color como de turbiedad, al igual cerciorarse que los parámetros físicos y químicos finales estén dentro el rango admitido por la resolución 2115 de 2007.

Bibliografías

- Abidin, Z., N. Ismail, R. Yunus, I.S. Ahamad, A. Idris. (2011). A preliminary study on *Jatropha curcas* as coagulant in wastewater treatment. *Environ. Technol.*, 32 (9) pp. 971–977.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21882550>
- Aguilar, M. I. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación. Editum.
- Alcocer, V. O., Ocaña, G. L., Balcazar, C. A. T., & González, L. P. (2018). Almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) como coadyuvante en la coagulación floculación de aguas residuales domésticas/Cassava Starch (*Manihot esculenta* Crantz) As a coadyuvant in the coagulation flocculation of domestic wastewater. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 18-46.
- Antov, M., Šćiban, M., Petrović, N. (2010). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for water turbidity removal. *Bioresour. Technol.*, 100 pp. 2167–2172.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409015247?via%3Dihub>
- Arboleda, V. J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Santa Fe de Bogotá: McGraw-Hill. <http://www.worldcat.org/oclc/503192515>
- Arcila, H. R., & Peralta, J. J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153.
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303>
- Arreola, M. M. S., & Cánepa, J. R. L. (2013). *Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, 17(2), 93-101.

- Asrafuzzaman, M., Fakhruddin, A.N.M., Alamgir Hossain, M., (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiol.*
<https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/632189/>
- Bolto, Gregory. (2007). Polielectrolitos orgánicos en el tratamiento de aguas. *Agua Res.*, 41, pp. 2301-2324.
- Bravo Gallardo, M. A. Coagulantes y Floculantes Naturales Usados en la Reducción de Turbidez, Sólidos Suspendidos, Colorantes y Metales Pesados en Aguas Residuales.
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- Cabrera, M., & Arintzy, G. (2018). Aplicación de Semilla de Moringa Oleifera Lam Como Alternativa Coagulante de Agua Almacenada en el Municipio de Zirándaro, Gro.
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95033>
- Carpio, T. (2007). Turbidez por Nefelometría en el Equipo Turbiquant 3000 T. Bogotá: IDEAM.
<http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/20446>
- Castrillón, D. (2002). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en la planta de tratamiento de villa santana, Tecnólogo Químico, Facultad de Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/6281622H565.pdf>
- Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería industrial*, (029), 153-170.
- Dakanali, M., Raptopoulou, CP, Terzis, A., Lakatos, A., Banyai, I., Kiss, T. y Salifoglou, A. (2003). Una nueva especie dinuclear en la distribución acuosa de aluminio en presencia de citrato. *Química inorgánica*, 42 (2), 252-254.

- Fatombi, J.K., Lartiges, B., Aminou, T., Barres, O., Caillet, C., (2013). A natural coagulant protein from copra (*Cocos nucifera*): isolation, characterization, and potential for water purification. *Sep. Purif. Technol.* 116, 35–40. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01114964/>
- Gassenschmidt, Jany, Tauscher, Niebergall. (1995). Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. *Biochem. Biophys. Acta*, 1243, pp. 477–481. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030441659400176X?via%3Dihub>
- Giraldo G., Ortiz G. (2004). Manual de análisis de aguas Universidad Nacional de Colombia
- Goyenola, G. (2007). Transparencia,color y turbidez. Uruguay: RED MAPSA Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7091>
- Guo, C. H. & Wang, C. L. (Nov. 2011). Plasma Aluminum is a Risk Factor for Oxidative Stress and Inflammation Status in Hemodialysis Patients. *Clinical Biochemistry*,44(16), 1309-1314
- Gray, N. F., & López, I. E. (1996). *Calidad del agua potable: problemas y soluciones* (No. 628.1 G7.). Acribia.
- Gurdián-López, R., & Coto-Campos, J. M. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista Tecnología en Marcha*, 24(2), pág-18.
- Hidalgo, R. T. (2012). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *Tecnogestión*, 9(1).
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/5646/7164>

- Jairo, A. M. E. T. J., Díaz, F., & Roa, S. B. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción limpia*, 9(1). <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/648/415>
- Madrona, G.S., Serpelloni, G.B., Vieira, A.M.S., Nishi, L., Cordeiro, K.C., Bergamasco, R., (2011). Study of the effect of saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment. *Water Air Soil Pollut.* 211, 409–415. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-009-0309-0>
- Miguel, M. M., Angela, A. G., & Mario, M. M. (2008). Obtención del almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico hartón musa AAB Simmonds. http://vip.ucaldas.edu.co/vector/downloads/Vector3_6.pdf
- Ministerio de la protección social ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, resolución 2115 de 22 junio 2017. http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- Nagasawa, T. (2006). Nichos microambientales en la médula ósea necesarios para el desarrollo de células B. *Nature Reviews Immunology* , 6 (2), 107-116.
- Ndabigengesere, Narasiah, Talbot. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. *Water Res.*, 29 (2), pp. 703–710. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004313549400161Y>
- Nkurunziza, T., Nduwayezu, J.B., Banadda, E.N., Nhapi, I., (2009). The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Sci. Technol.* 59 (8), 1551–1558. <https://iwaponline.com/wst/article->

abstract/59/8/1551/12903/The-effect-of-turbidity-levels-and-

Moringa?redirectedFrom=fulltext

Ocasio, F. (2008). Evaluación de la Calidad del Agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del Río Piedra. Universidad Metropolitana escuela graduada de asuntos ambientales San Juan, Puerto Rico.

http://www.anagmendez.net/umet/pdf/biblioteca_tesisamb_ocasiosantiagof2008.pdf

Okuda, Baes, Nishijima, Okada. (1999). Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seeds. Water Res., 33 pp. 3373– 3378.

<https://pdfs.semanticscholar.org/2377/e25b98e99943c1765e0091544078ece06bac.pdf>

Okuda, Baes, Nishijima, Okada. (2001). Coagulation mechanism of salt solution extracted active component in Moringa oleifera seeds. Water Res., 35 pp. 830–834.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Coagulation-mechanism-of-salt-solution-extracted-in-Okuda-Baes/924fb0b5ce3c82d88cbff2be389bbf77ac7f4839>

Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabón, L. E. (2013). Removing turbidity from Magdalena river by the use of opuntia ficus-indica cactus mucilage. Producción Limpia, 8(1), 19-27.

Ortiz, J. (1999). Análisis de agua para consumo humano. Instituto nacional de salud.

<https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20analisis%20fisico%20quimico%20aguas.pdf>

Ortiz, Y., Vargas, P. (2016). Comparación de la capacidad coagulante del llantén plantago major (sp) frente al coagulante convencional sulfato de aluminio en agua residual doméstica sintética. Universidad de la salle.

http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20446/411111143_2016.pdf?sequence=1

Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y., & Fuentes, L. (2011).

Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose)/(Cactaceae). *Redieluz*, 1(1), 27-33.

Pérez, G. (2002). Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia.

https://www.autoreseditores.com/book_preview/pdf/000007937.pdf?1518508327

Pringles, J. (2014). Laboratorio Ph. Argentina: Universidad Nacional de San Luis.

<https://www.coursehero.com/file/22864182/laboratorio-de-ph/>

Raghuwanshi, P.K., Mandloi, M., Sharma, A.J., Malviya, H.S., Chaudhari, S., 2002. Improving

filtrate quality using agro based materials as coagulant aid. *Water Qual. Res. J. Can.* 37

(4), 745–756. <http://dspace.library.iitb.ac.in/xmlui/handle/10054/5282>

Renault, B. Sancey, P.M. Badot, G. Crini, Chitosan for coagulation/flocculation processes – an

eco-friendly approach, *Eur. Polym. J.* 45 (2009) 1337–1348.

file.scirp.org/pdf/ACES20110400010_50057604.pdf

Rivera H, Roger H. (2017). Eficiencia de coagulantes naturales obtenidos de yuca (*Manihot*

Esculenta) y plátano (*Musa Paradisiaca*) para remover turbidez y *Escherichia Coli* del

riachuelo Santa Perené Chanchamayo 2017.

http://181.224.246.201/bitstream/handle/UCV/3594/Rivera_HRH.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rivera Huanay, R. H. (2017). Eficiencia de coagulante natural obtenidos de yuca (*Manihot*

Esculenta) y plátano (*Musa Paradisiaca*) para remover turbidez y *Escherichia Coli* del

- riachuelo Santa_Perené_Chanchamayo 2017.
- <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3594>
- Sanghi, Bhattacharya, Dixit, Singh, (2006). Ipomoea dasysperma seed gum: an effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions, J. Environ. Manage. 81 36–41.
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16549236>
- Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., & Pérez, Z. (2007). Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. *Revista Ingeniería UC*, 14(3), 16-23.
- Shak, K.P.Y., Wu, T.Y., (2014). Coagulation-flocculation treatment of high-strength agro industrial wastewater using natural Cassia obtusifolia seed gum: treatment efficiencies and flocs characterization. Chem. Eng. J. 256, 293–305 (accepted manuscript).
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714008420?via%3Dihub>
- Suay Llopis, L., & Ballester Díez, F. (2002). Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer. *Revista española de salud pública*, 76, 645-658.
- http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1135572720020006000002&script=sci_abstract&tlng=es
- Suopajarvi, T., Liimatainen, H., Hormi, O. y Niinimäki, J. (2013). Tratamiento de coagulación-floculación de aguas residuales municipales a base de nanocelulosas anionizadas. *Chemical Engineering Journal* , 231 , 59-67.
- Tomljenovic, L. (2011). Aluminum and Alzheimer's Disease: After a Century of Controversy, Is There a Plausible Link? *Journal of Alzheimer's Disease*, 23 (4), 567-598

- Torres, P., Rodríguez, J., & Rojas, O. (2005). Extracción de almidón de yuca. Manejo integral y control de la contaminación hídrica. *CIPAV Livestock Research for Rural Development*, 17. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd17/7/torr17074.htm>
- Trejos R, Hernández V. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, núm. 25. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402508>
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27(1), 17-34.
- Vázquez, R. T., & Montoya, V. H. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, (25).
<https://www.redalyc.org/pdf/944/94402508.pdf>
- Yokel, RA y McNamara, PJ (2001). Toxicocinética del aluminio: una mini revisión actualizada. *Farmacología y toxicología: Mini Review*, 88 (4), 159-167.